

明 細 書

AP20 Rec'd PCT/PTO 06 JUL 2005

光電子増倍管

技術分野

[0001] 本発明は、入射光に応じて生成された光電子を増倍させる光電子増倍管に関するものである。

背景技術

[0002] 光電子増倍管は、光電効果を利用した光センサとして幅広い分野で用いられているものである。この光電子増倍管に外部から光が入射されると、光がガラスバルブを透過して光電面に当たり、光電面から光電子が放出される。放出された光電子は、複数段のダイノードに順次入射されることにより増倍され、増倍された光電子は出力信号としてアノードで収集される。この出力信号を測定することにより、光電子増倍管に入射する外部光が検出される(例えば、特許文献1〜3参照。)。

特許文献1: 特公昭43-443号公報

特許文献2: 特開平5-114384号公報

特許文献3: 特開平8-148114号公報

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0003] このような光電子増倍管の構成としては、例えば、図8、図9に示すようなものが考えられる。同図に示す光電子増倍管は、いわゆるヘッドオン型と呼ばれているもので、円筒状のガラスバルブである密閉容器1内に、カソード3、複数段のダイノード7、及びアノード9が備えられている。

[0004] このような構成において、密閉容器1のカソード3側の端面に入射した光は、密閉容器1を透過してカソード3の光電面に当たり、そのカソード3から光電子が放出され、放出された光電子は収束電極5により第1ダイノード7a上に収束される。収束された光電子は複数段のダイノード7a, 7b, 7cに順次入射されることにより増倍され、この増倍された光電子は出力信号としてアノード9で収集される。ここで、ダイノード7a, 7b, 7cは、光電子を効率よく増倍させるために後段のダイノードに向かって凹部を形

成するとともに、その端部には側壁が設けられている。

[0005] 上記の光電子増倍管においては、第1ダイノード7aの形状に起因して第1ダイノード7aの近傍における長手方向の電位分布(等電位線L0の分布)に歪みが生じた状態となっており、第1ダイノード7aの側壁11側の端部における電界強度が第1ダイノード7aの中心部に比較して小さくなっている(図9(a)参照。)。一方、カソード3の周辺部から出射された光電子は、第1ダイノード7aの端部付近に入射する(光電子軌道f0)。この入射により増倍された光電子は、第1ダイノード7aの近傍における不均一な電界により、その軌道が側壁11側から密閉容器1の軸線方向に曲げられた状態で第2ダイノード7bに入射する。

[0006] これに対して、カソード3の中心部から出射された光電子は、第1ダイノード7aの中心部付近に入射後、第1ダイノード7aにより増倍されて、ほぼ直線的に第2ダイノード7bに入射する(光電子軌道g0)。このため、カソード3における光の入射位置による光電子の走行時間差(CTTD:Cathode Transit Time Difference)が生じる結果、入射光に対する出力信号の応答時間にゆらぎが発生するとともに、出力信号において十分な時間分解能を得ることが困難である。

[0007] そこで、本発明はかかる課題に鑑みて為されたものであり、光電子増倍管における入射光に対する時間分解能を向上させることを目的としている。

課題を解決するための手段

[0008] 本発明の光電子増倍管は、入射した光によって電子を放出するカソードと、カソードから放出した電子を増倍させる複数段のダイノードと、カソードから第1段目に位置する第1ダイノードの縁部とカソードから第2段目に位置する第2ダイノードの縁部とに対して所定位置に配置されており、第1ダイノードと第2ダイノードとの間の空間における等電位面を第1ダイノードの長手方向に平坦化する電位調整手段とを備える。

[0009] このような光電子増倍管では、第1ダイノードの前方における第1ダイノードの長手方向の電位分布が平坦化されることにより、カソードの周辺部から放出された光電子が、第1ダイノードの縁部において増倍された後、第1ダイノードからほぼ直進して第2ダイノードに入射される。これにより、カソードにおける光の照射位置による光電子の走行距離の偏差が低減される。

- [0010] また、電位調整手段は、第1ダイノードの縁部と第2ダイノードの縁部との間において第1ダイノードの側壁に略平行に配置されており、かつ、第1ダイノードから離間して配置されている平板状の電子レンズ形成電極であり、電子レンズ形成電極には、第1ダイノードの電位より高い電位となるように電圧が印加されることが好ましい。
- [0011] このような構成にすれば、電子レンズ形成電極により第1ダイノードの縁部から第2ダイノードの縁部にかけての電位が効果的に高められ、電位分布の平坦化が容易に実現される。
- [0012] さらに、電子レンズ形成電極は、カソードから第3段目に位置する第3ダイノードの縁部と電氣的に接続されていることも好ましい。
- [0013] この場合、電子レンズ形成電極に供給する電圧を第3ダイノードと共有でき、電位分布の調整が簡易に為される。
- [0014] またさらに、電子レンズ形成電極は、複数段のダイノードから離間して配置されていることも好ましい。
- [0015] こうすれば、電子レンズ形成電極がダイノードから電氣的に絶縁されることにより独立して給電可能となるので、電位分布に関する所望の調整が可能となる。
- [0016] さらにまた、第2ダイノードの縁部と第3ダイノードの縁部との間において電子レンズ形成電極に沿って配置されており、かつ、第2ダイノードから離間して配置されている第2の電子レンズ形成電極を更に備え、第2の電子レンズ形成電極には、第2ダイノードの電位より高い電位となるように電圧が印加されることが好ましい。
- [0017] かかる第2の電子レンズ形成電極を備えると、第2ダイノードの前面における第2ダイノードの長手方向の電位分布も併せて平坦化されることにより、カソードにおける光の照射位置に関する光電子の走行距離の偏差がより一層低減される。
- [0018] 加えて、第2の電子レンズ形成電極は、電子レンズ形成電極と一体に形成されていることも好ましい。
- [0019] この場合、電子レンズ形成電極が一体化されるとともに、電極に供給される電圧が共有可能とされるので、単純な構成で電子レンズとしての機能が発揮される。
- [0020] また、カソード、複数段のダイノード、及びレンズ形成電極は、円筒状をなし両端が閉鎖された密閉容器内に配置され、光は密閉容器の一端から密閉容器内に入射し

、複数段のダイノードはそれぞれ略円弧状をなす凹形状をなし、第1ダイノードは密閉容器の略一端の方向に向けて開口し、第2ダイノードは密閉容器の略他端の方向に向けて開口し、第3ダイノードは密閉容器の略一端の方向に向けて開口し、凹形状の複数段のダイノードの内周面には電子が入射及び出射し、レンズ形成電極は、第1ダイノードの内周面、第2ダイノードの内周面、及び第3ダイノードの内周面に垂直の方向で切った平面で見たときに、第1ダイノードの凹形状に倣った扇形状をなすことが好ましい。

発明の効果

- [0021] 本発明の光電子増倍管によれば、入射光に対する時間分解能を十分に向上させることができる。

図面の簡単な説明

- [0022] [図1]本発明の第1実施形態にかかる光電子増倍管のダイノード長手方向に垂直な方向に沿った縦断面図である。

[図2](a)は、図1の光電子増倍管のダイノード長手方向に沿った端面図、(b)は、図1の光電子増倍管を図中の左方向から見た端面図である。

[図3]図1のダイノードを示す側面図である。

[図4]本発明の第2実施形態にかかる光電子増倍管のダイノード長手方向に垂直な方向に沿った縦断面図である。

[図5]本発明の第3実施形態にかかる光電子増倍管のダイノード長手方向に垂直な方向に沿った縦断面図である。

[図6]本発明の他の実施形態にかかる光電子増倍管のダイノード長手方向に垂直な方向に沿った縦断面図である。

[図7]本発明の他の実施形態にかかる光電子増倍管のダイノード長手方向に垂直な方向に沿った縦断面図である。

[図8]光電子増倍管の一例を示す縦断面図である。

[図9](a)は、図8の光電子増倍管を上方向から見た断面図、(b)は、図8の光電子増倍管を左方向から見た断面図である。

符号の説明

[0023] 1…密閉容器、3…カソード、5…収束電極、7, 7a, 7b, 7c, 107, 107a, 107b, 107c…ダイノード、9…アノード、11, 111a, 111b, 113a, 113b…側壁、115, 117, 215, 315, 319, 323…電子レンズ形成電極、319…電子レンズ形成電極(第2の電子レンズ形成電極)。

発明を実施するための最良の形態

[0024] 以下、図面を参照しつつ本発明に係る光電子増倍管の好適な実施形態について詳細に説明する。なお、図中、先に示した従来構成と同一又は相当部分には同一符号を用いることとし、説明における「上下左右」は、図面の上下左右に基づくものとする。

[0025] [第1実施形態]

図1は、本発明の第1実施形態にかかる光電子増倍管のダイノード長手方向に垂直な方向に沿った縦断面図、図2において、(a)は、図1の光電子増倍管のダイノード長手方向に沿った端面図、(b)は、図1の光電子増倍管を図中の左方向から見た端面図である。この光電子増倍管は、ヘッドオン型と呼ばれる光電子増倍管であり、端面から入射された光を検出するための装置である。以下、「上流側」とは、光が入射される端面側を言うものとし、「下流側」とはその反対側を言うものとする。

[0026] 図1において、密閉容器1は、透光性の密閉容器であり、具体的には、上流側及び下流側の両端が閉鎖された透明な円筒状のガラスバルブである。この密閉容器1の内側の上流側端面近傍には、入射した光により光電子を放出する透過型の光電陰極であるカソード3が設けられている。これに対して、密閉容器1内の下流側には、下流方向に増倍されながら走行する光電子を出力信号として取り出すためのアノード9が取り付けられている。カソード3とアノード9との間には、カソード3から放出された光電子を軸線方向に収束するための収束電極5が設けられ、この収束電極の下流側には、収束された光電子を増倍させるための複数段のダイノード107が支持されている。また、カソード3、収束電極5、ダイノード107、アノード9は、それぞれが所定の電位に維持されるように、電圧が供給されている。この電圧の供給は、例えば、電源から電圧分割回路のような電源回路(図示せず)を介して行われる。この場合、電源回路は、光電子増倍管と一体化されたものであっても良いし、別体化されたものであっても

も良い。

[0027] 図3は、ダイノード107を図1と同一の方向から見た側面図である。図3を参照して、ダイノード107a、ダイノード107b、及びダイノード107cはそれぞれ、カソード3から第1段目、第2段目、及び第3段目に位置し、紙面に垂直な方向を長手方向として設けられたダイノードである。ダイノード107a、ダイノード107b、及びダイノード107cは、カソード3及び前段のダイノードから放出した光電子を効率よく倍増するように、後段のダイノードに向かって所定の凹形状で形成されており、かつ、所定の傾斜角度で設置されている。また、図2(a)に戻って、第1ダイノード107aの長手方向(図2(a)の上下方向)の両縁部には、側壁111a、側壁113aが長手方向に対して垂直に、かつ第2ダイノード107b側に伸びるように形成されている。同様に、第2ダイノード107bの両縁部においては、側壁111b、側壁113bが形成されている。ここで、図2(a)及び図2(b)においては、各断面における第2ダイノード107bの位置を2点鎖線で示している。以下、4段目以降のダイノードの構成はダイノード107bの構成と同様であるので記載を省略している。

[0028] さらに、ダイノード107a、ダイノード107b、及びダイノード107cには上述した電源回路が接続されており、それぞれ所定の電位VA、VB、及びVC ($VA < VB < VC$) に維持されるように電圧が供給される。他のダイノードも同様に、アノード9に向けて順次電位が高くなるように電圧が供給される。

[0029] 第1ダイノード107aの側壁111a、113aと第2ダイノード107bの側壁111b、113bとの間にはそれぞれ、平板電極である電子レンズ形成電極(電位調整手段)115、117が、側壁111a、113aと略平行に設置されている。電子レンズ形成電極115、117の形状はそれぞれ、図3に示すように、側壁111a、113aと側壁111b、113bとで挟まれた部分をほぼ覆うように略扇形とされる。この電子レンズ形成電極115、117の形状としては、その他、楕円形、矩形、三角形等のその他の形状も採用可能であるが、ダイノード107間において電子レンズ機能を効率よく発揮させるためには、扇形状のものがより好ましく用いられる。

[0030] 本実施形態においては、電子レンズ形成電極115は、第3ダイノード107cの縁部と接合されることにより第3ダイノード107cと電氣的に接続されている。一方、この電子

レンズ形成電極115は、側壁111aから一定距離を隔てた所定位置に離間して配置されることにより、第1ダイノード107aと電氣的に絶縁状態とされる。併せて、電子レンズ形成電極115は、第3ダイノード107c以外の各ダイノードからも電氣的に絶縁されている。このような構成は、電子レンズ形成電極117においても同様である。

- [0031] なお、本実施形態では、電子レンズ形成電極115, 117は、第3ダイノード107cと接合されているが、リード線、金属等の他の導電手段により電氣的に第3ダイノード107cと接続されても良い。
- [0032] 電子レンズ形成電極115, 117は、かかる構成により第3ダイノード107cに印可される電圧が同時に印加されることとなる。つまり、電子レンズ形成電極115, 117には、第1ダイノード107aの電位VAより高い電位VCになるように電圧が印加される。図2(a)には、カソード3から第1ダイノード107aにかけての等電位線L1の分布が、図2(b)には、第1ダイノード107aと第2ダイノード107bとの間の径方向の等電位線m1の分布が示されている。これらの図に示すように、電子レンズ形成電極115, 117により、第1ダイノード107aの側壁111a, 113a近傍から第2ダイノード107bの側壁111b, 113b近傍にかけての電位が相対的に上昇することがわかる。これにより、第1ダイノード107aと第2ダイノード107bとの間の等電位線L1, m1は第1ダイノード107aの長手方向(図2(a)における上下方向、図2(b)における左右方向)に沿って平坦化されるとともに、第1ダイノード107aと第2ダイノード107b間の電界は、第1ダイノード107aの長手方向に沿って一様とされる。この一様化の傾向は、第1ダイノード107aの近傍で特に顕著に現れる。
- [0033] 図2(a)に示すように、上記のような空間電位構造により、カソード3の上側端部から放出された光電子は、第1ダイノード107aの長手方向の端部に入射することにより増倍され、第1ダイノードの側壁111a, 113aに平行な方向に出射される。このようにして出射された光電子は、ほぼ直進して第2ダイノードの端部に入射する(光電子軌道f1)。これに対して、カソード3の中心部から放出された光電子は、第1ダイノード107aの長手方向の中心部に入射することにより増倍され、第1ダイノードの側壁111a, 113aに平行な方向に出射される。このようにして第1ダイノード107aから出射された光電子は、ほぼ直進して第2ダイノードの中心部に入射する(光電子軌道g1)。

[0034] このように、電子レンズ形成電極115, 117を用いることにより、第1ダイノード107aの前方、つまり第1ダイノード107aと第2ダイノード107bとの間における第1ダイノード107aの長手方向の電位分布が平坦化される。その結果、カソード3の周辺部から放出された光電子、及びカソード3の中心部から放出された光電子がともに、第1ダイノード107aによって増倍された後、第1ダイノード107aからほぼ直進して第2ダイノード107cに入射される。従って、カソード3における光の照射位置による光電子の走行距離の偏差がより小さくされるので、光照射位置による走行時間差(CTTD: Cathode Transit Time Difference)、及び光を全面照射したときの走行時間のゆらぎ(TTS: Transit Time Spread)を低減することができる。特に、第1ダイノード107aと第2ダイノード107bとの間の光電子の走行距離は他のダイノード間の走行距離に比して大きいので、電子レンズ形成電極115, 117を備えることにより、CTTD、TTSが効果的に低減される。

[0035] また、電子レンズ形成電極115, 117と第3ダイノード107cとが電氣的に接続されているので、第3ダイノード107c用の電源回路及び配線等の電圧供給手段を共有することにより、電子レンズ形成電極115, 117に簡易に電圧が供給される。

[0036] [第2実施形態]

第2の実施形態にかかる光電子増倍管について以下説明する。なお、第1の実施形態と同一又は同等な構成部分については同一符号を付して、その説明は省略する。

[0037] 図4は、第2実施形態にかかる光電子増倍管のダイノード長手方向に垂直な方向に沿った縦断面図である。図4に示すように、第2ダイノード107bは両縁部の側壁が取り除かれた状態で設置されている。

[0038] 第1ダイノードの側壁111aと第2ダイノード107bの縁部との間には、側壁111aと略平行に電子レンズ形成電極215が設置されている。なお、他方の縁部側においても電子レンズ形成電極が備えられるが、電子レンズ形成電極215と同一の構成であるので説明を省略する。電子レンズ形成電極215は、電子レンズ形成電極115と同様、側壁111aと第2ダイノード107bの縁部とで挟まれた部分において略扇形の平板電極を形成しているが、第2ダイノード107bの縁部近傍にまで延在する点が異なる。

また、電子レンズ形成電極215は、第3ダイノード107cの縁部と接合され、第3ダイノード107c以外のダイノードからは離間して配置されることにより電氣的に絶縁状態とされる。上記のような構成を採ることにより、第2ダイノード107bの縁部と第3ダイノード107cとの縁部との間にも電位調整手段としての平板電極が備えられる。

[0039] 上記構成によって、第2ダイノード107bの前面、すなわち第2ダイノード107bと第3ダイノード107cとの間における第2ダイノード107bの長手方向の電位分布も併せて平坦化される。これにより、第2ダイノード107bと第3ダイノード107cとの間の光電子の走行時間差が短縮される結果、カソード3における光の照射位置に関する光電子の全体走行距離の偏差がさらに小さくされることとなり、CTTD、TTSがより一層低減される。

[0040] [第3実施形態]

第3の実施形態にかかる光電子増倍管について以下説明する。なお、第1の実施形態と同一又は同等な構成部分については同一符号を付して、その説明は省略する。

[0041] 図5は、第3実施形態にかかる光電子増倍管のダイノード長手方向に垂直な方向に沿った縦断面図である。図5に示すように、第2ダイノード107b及び第3ダイノード107cは両縁部の側壁が取り除かれた状態で設置されている。

[0042] 第1ダイノードの側壁111aと第3ダイノード107cの縁部との間には、側壁111aと略平行に電子レンズ形成電極315が設置されている。電子レンズ形成電極315の位置及び形状は、電子レンズ形成電極115とほぼ同様であるが、電子レンズ形成電極315は扇形の先端が切り欠かれたような形状をしており、第3ダイノード107cの縁部と一定距離を隔てて配置される。また、電子レンズ形成電極315は、いずれのダイノードからも一定距離以上を離間して配置されることにより電氣的に絶縁されている。

[0043] また、第2ダイノード107bの縁部と第3ダイノード107cの縁部との間には、電子レンズ形成電極315と平行になるように電子レンズ形成電極(第2の電子レンズ形成電極)319が配置されている。この電子レンズ形成電極319は、第2ダイノード107bの縁部と第3ダイノード107cの縁部とで挟まれる部分をほぼ覆うような略扇形の形状に形成されているとともに、第2ダイノード107bの縁部と第3ダイノード107cの縁部とから

離間して配置される結果、全てのダイノード107から電氣的に絶縁される。

[0044] なお、他方の縁部においても電子レンズ形成電極が備えられるが、電子レンズ形成電極315、319と同一の構成であるので説明を省略する。

[0045] さらに、電子レンズ形成電極315、319にはそれぞれ、電圧分割回路を含む電源回路が接続されており、この電源回路によりそれぞれの電極に電圧が供給される。この際、電子レンズ形成電極315は、VAより高い電位となるように電圧が印可されるとともに、電子レンズ形成電極319は、VBより高い電位となるように電圧が印可される。

[0046] このような光電子増倍管によっても、第1ダイノード107aと第2ダイノード107bの間、及び第2ダイノード107bと第3ダイノード107c間におけるダイオード長手方向の電位分布が同時に平坦化され、光の照射位置に関する光電子の走行距離の偏差が小さくなる。また、電子レンズ形成電極315、319の電位を適宜調整可能であるので、空間電位の調整の自由度が高くなる。

[0047] なお、本発明は、前述した実施形態に限定されるものではない。

[0048] 例えば、第3実施形態にかかる光電子増倍管においては、電子レンズ形成電極315と電子レンズ形成電極319とを備えているが、図6に示すように、電子レンズ形成電極315のみで構成されていても良い。

[0049] また、第3実施形態にかかる光電子増倍管においては、電子レンズ形成電極315と電子レンズ形成電極319とは空間的に独立して備えられているが、図7に示すように、電子レンズ形成電極は、第3ダイノード107cと一定距離を離間可能なようなくぼみを有する形状で一体に形成された電子レンズ形成電極323を備えていても良い。これにより、電圧供給手段の共有化が為されるとともに、装置全体の構成が単純化される。

産業上の利用可能性

[0050] 本発明の光電子増倍管は、出力信号において十分な時間分解能を得ることが要求される光電子増倍管の分野において特に有用である。

請求の範囲

- [1] 入射した光によって電子を放出するカソード(3)と、
前記カソードから放出した電子を増倍させる複数段のダイノード(107)と、
前記カソードから第1段目に位置する第1ダイノード(107a)の縁部と前記カソードから第2段目に位置する第2ダイノード(107b)の縁部とに対して所定位置に配置されており、前記第1ダイノード(107a)と前記第2ダイノードとの間の空間における等電位面を前記第1ダイノード(107a)の長手方向に平坦化する電位調整手段(115、215、315、319、323)と、
を備えることを特徴とする光電子増倍管。
- [2] 前記電位調整手段は、前記第1ダイノード(107a)の縁部と前記第2ダイノード(107b)の縁部との間において前記第1ダイノード(107a)の側壁に略平行に配置されており、かつ、前記第1ダイノード(107a)から離間して配置されている平板状の電子レンズ形成電極(115、215、315、323)であり、
前記電子レンズ形成電極(115、215、315、323)には、前記第1ダイノード(107a)の電位より高い電位となるように電圧が印加される、
ことを特徴とする請求項1に記載の光電子増倍管。
- [3] 前記電子レンズ形成電極(115、215)は、前記カソードから第3段目に位置する第3ダイノード(107c)の縁部と電氣的に接続されている、
ことを特徴とする請求項2に記載の光電子増倍管。
- [4] 前記電子レンズ形成電極(315、323)は、前記複数段のダイノード(107)から離間して配置されている、
ことを特徴とする請求項2に記載の光電子増倍管。
- [5] 前記第2ダイノード(107b)の縁部と前記第3ダイノード(107c)の縁部との間において前記電子レンズ形成電極(115、215、315)に略平行に配置されており、かつ、前記第2ダイノードから離間して配置されている第2の電子レンズ形成電極(115、215、319)を更に備え、
前記第2の電子レンズ形成電極(115、215、319)には、前記第2ダイノード(107b)の電位より高い電位となるように電圧が印加される、

ことを特徴とする請求項2〜4のいずれか1項に記載の光電子増倍管。

- [6] 前記第2の電子レンズ形成電極(115、215)は、前記電子レンズ形成電極(115、215)と一体に形成されている、

ことを特徴とする請求項5に記載の光電子増倍管。

- [7] 前記カソード(3)、前記複数段のダイノード(107)、及び前記レンズ形成電極(115、215、315、319、323)は、円筒状をなし両端が閉鎖された密閉容器(1)内に配置され、

前記光は前記密閉容器(1)の一端から前記密閉容器(1)内に入射し、

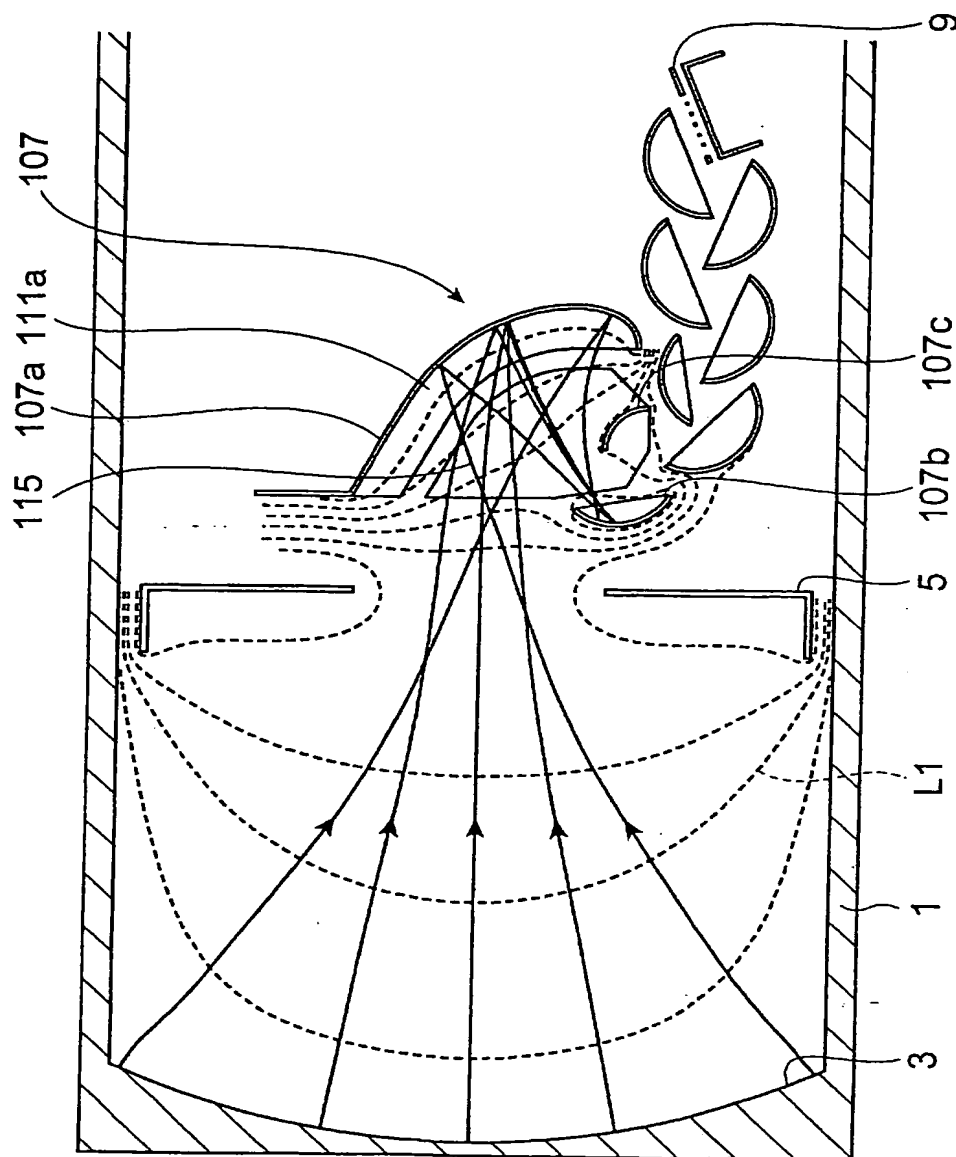
前記複数段のダイノード(107)はそれぞれ略円弧状をなす凹形状をなし、前記第1ダイノード(107a)は前記密閉容器(1)の略一端の方向に向けて開口し、前記第2ダイノード(107b)は前記密閉容器(1)の略他端の方向に向けて開口し、前記第3ダイノード(107c)は前記密閉容器(1)の略一端の方向に向けて開口し、前記凹形状の前記複数段のダイノード(107)の内周面には前記電子が入射及び出射し、

前記レンズ形成電極(115、215、315、323)は、前記第1ダイノード(107a)の内周面、前記第2ダイノード(107b)の内周面、及び前記第3ダイノード(107c)の内周面に垂直の方向で切った平面で見たときに、前記第1ダイノード(107a)の凹形状に倣った扇形状をなすことを特徴とする請求項2乃至請求項6のいずれか一記載の光電子増倍管。

【書類名】要約書

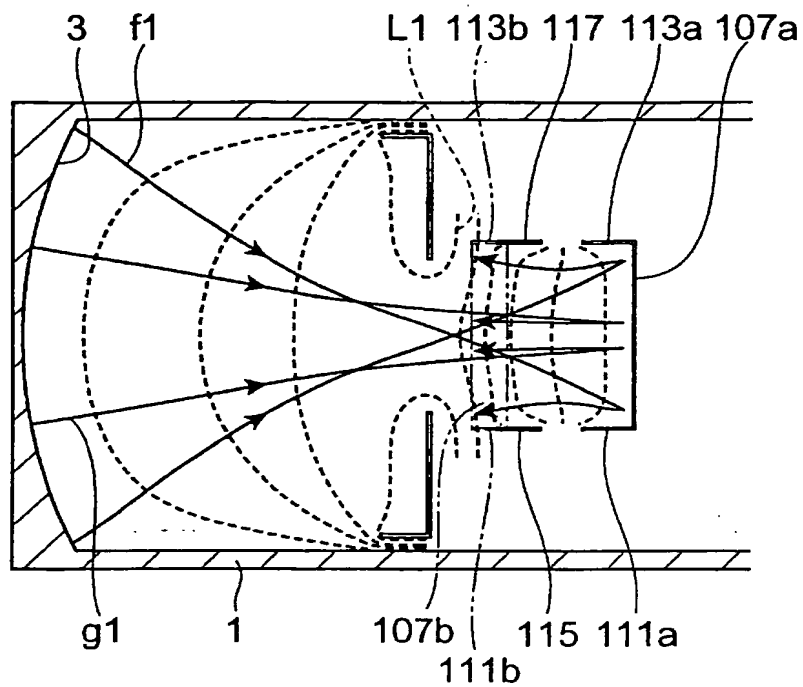
この光電子増倍管は、入射した光によって電子を放出するカソード3と、カソード3から放出した電子を増倍させる複数段のダイノード107と、カソード3から第1段目に位置する第1ダイノード107aの縁部とカソード3から第2段目に位置する第2ダイノード107bの縁部とに対して所定位置に配置されており、第1ダイノード107aと第2ダイノード107bとの間の空間における等電位面を第1ダイノード107aの長手方向に平坦化する電子レンズ形成電極115とを備える。この構成により、入射光に対する時間分解能を向上させる。

[図1]

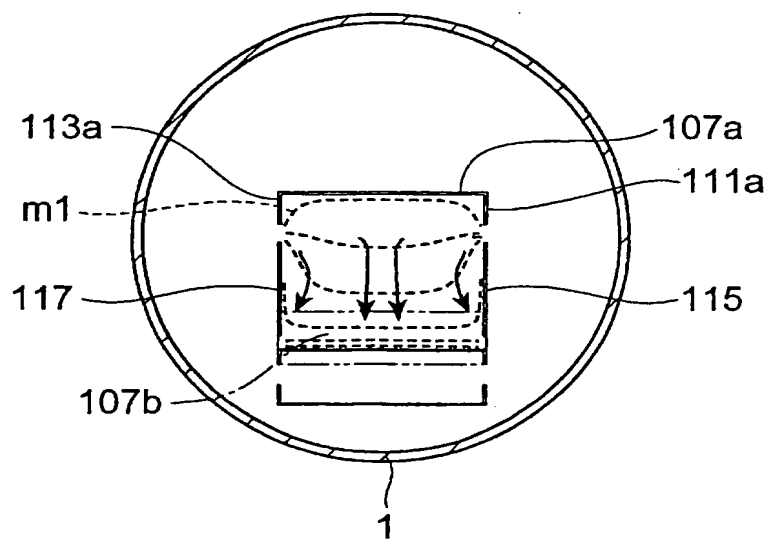


[図2]

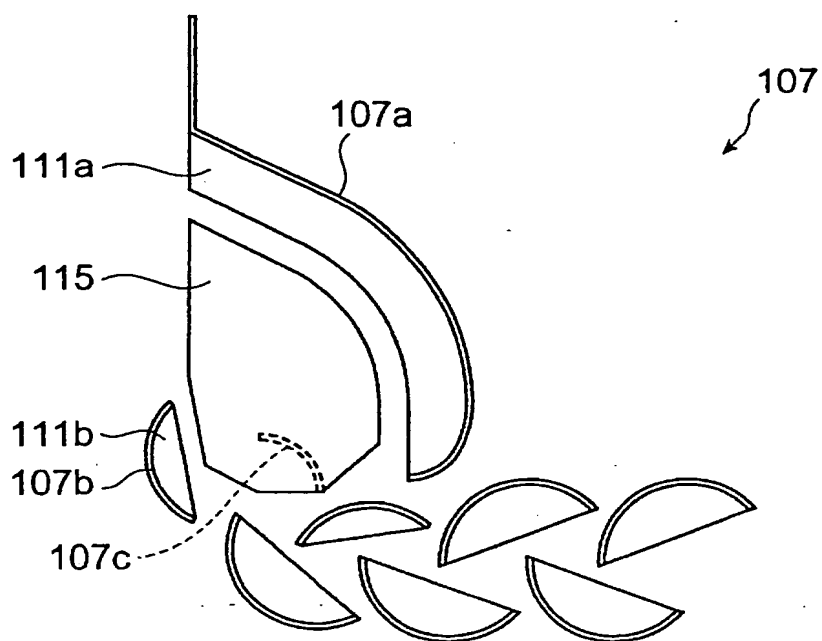
(a)



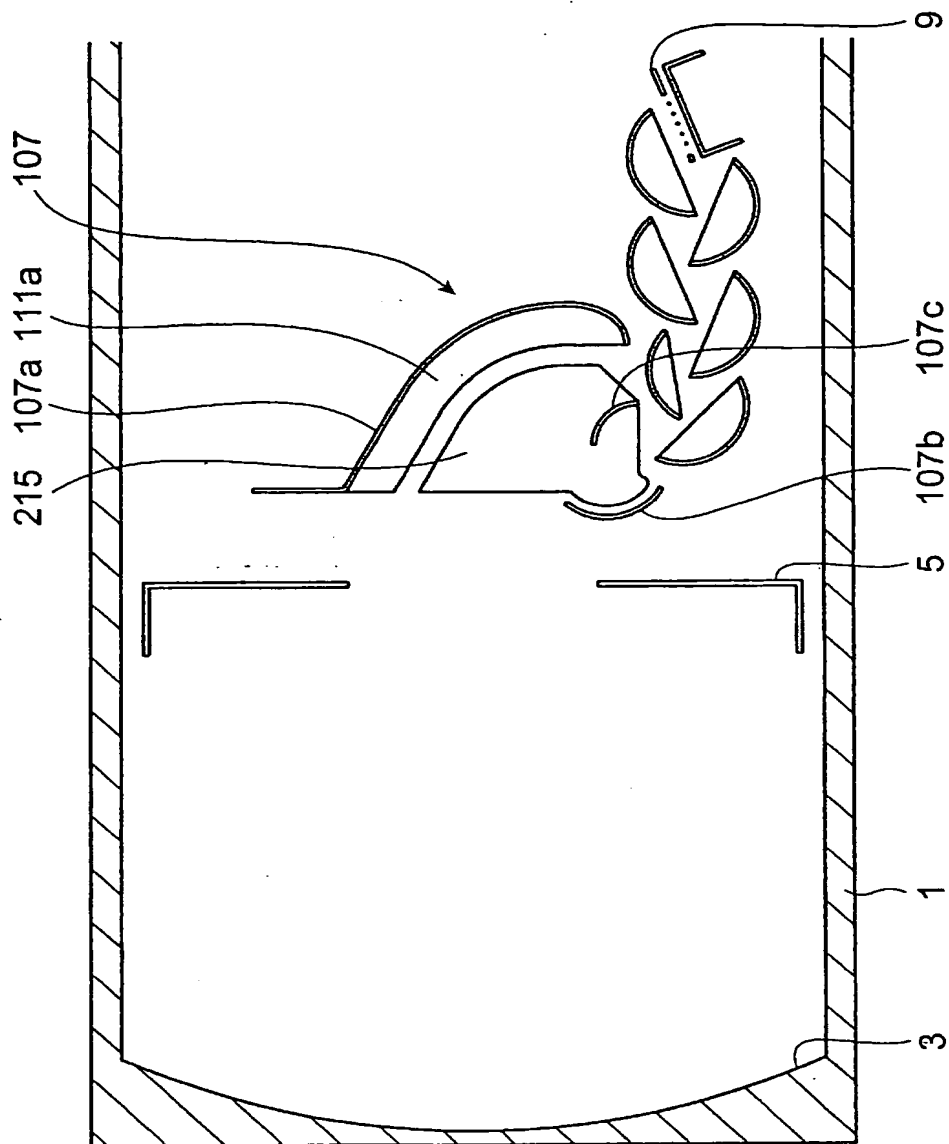
(b)



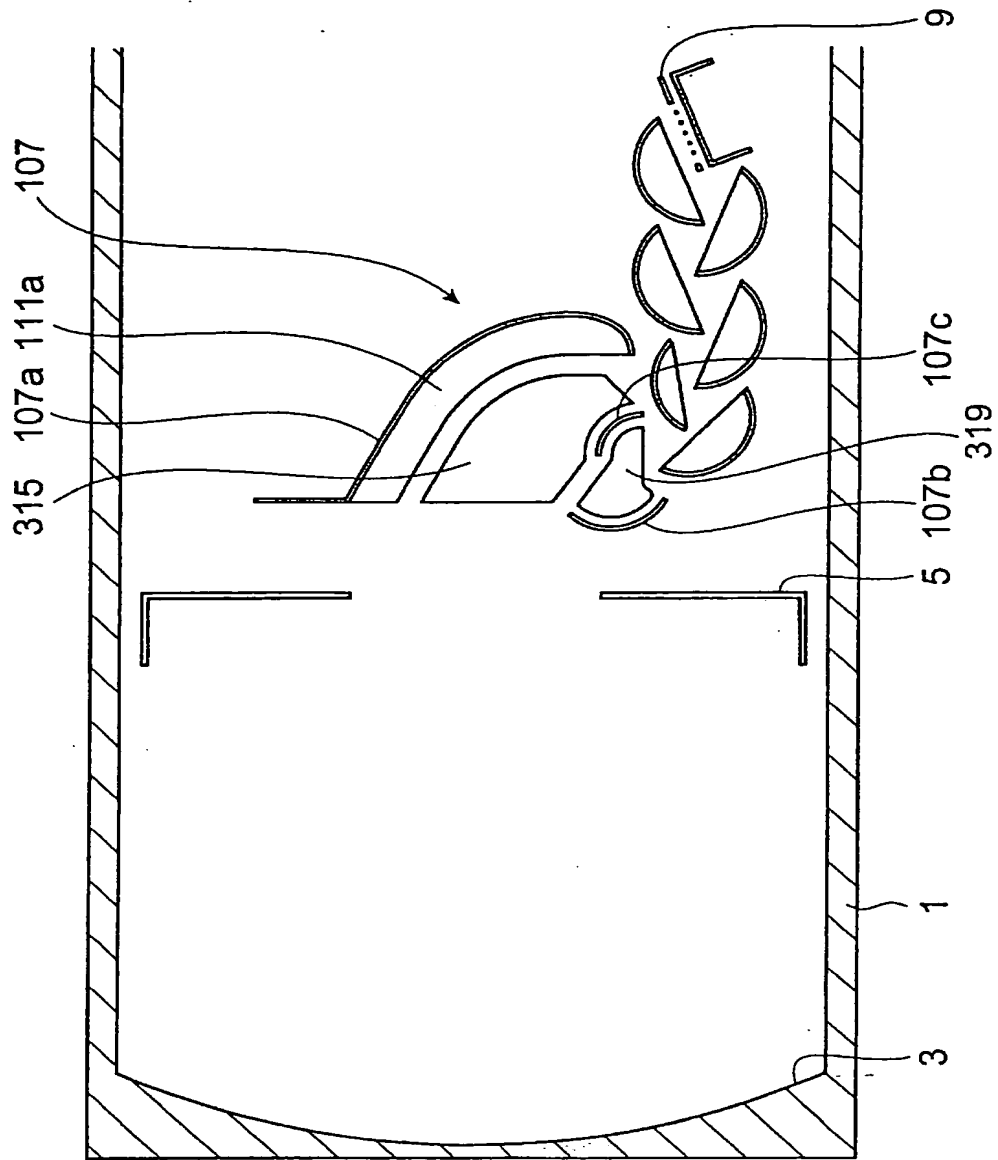
[図3]



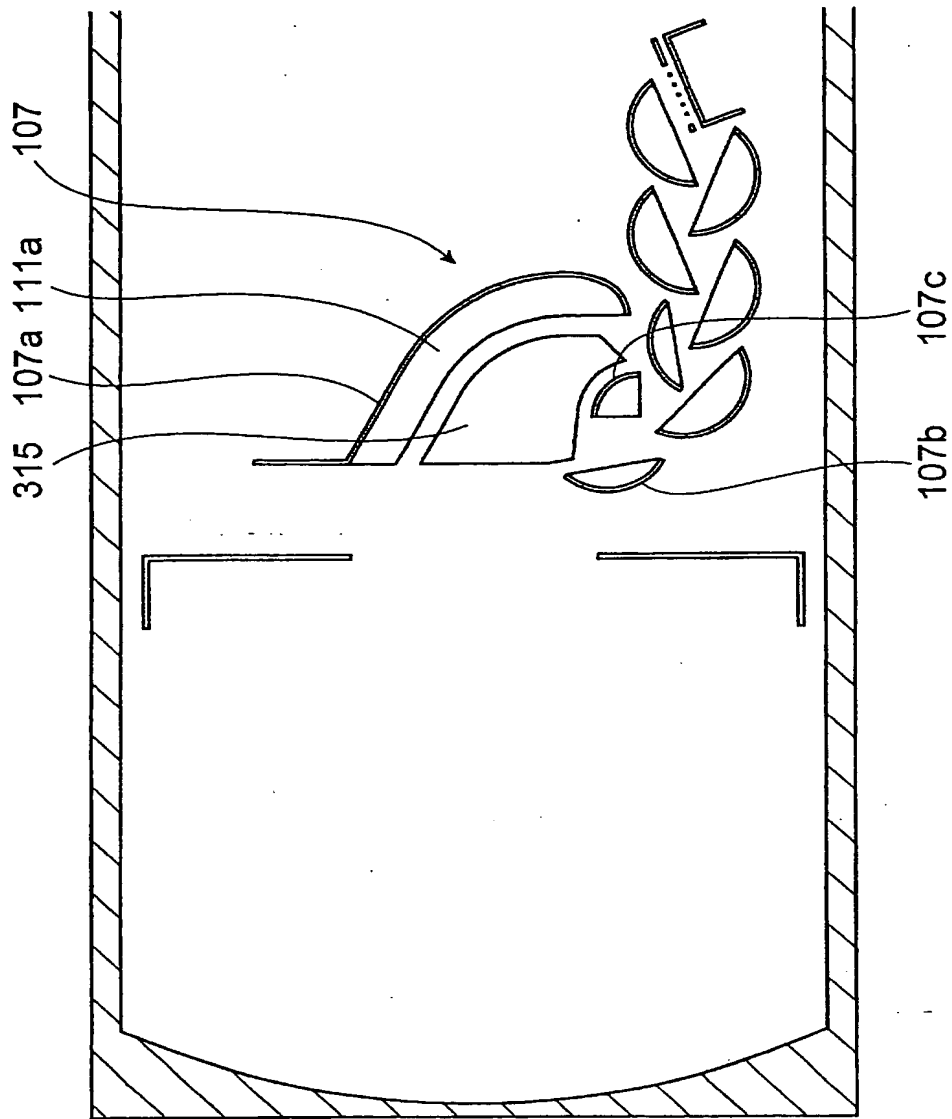
[図4]



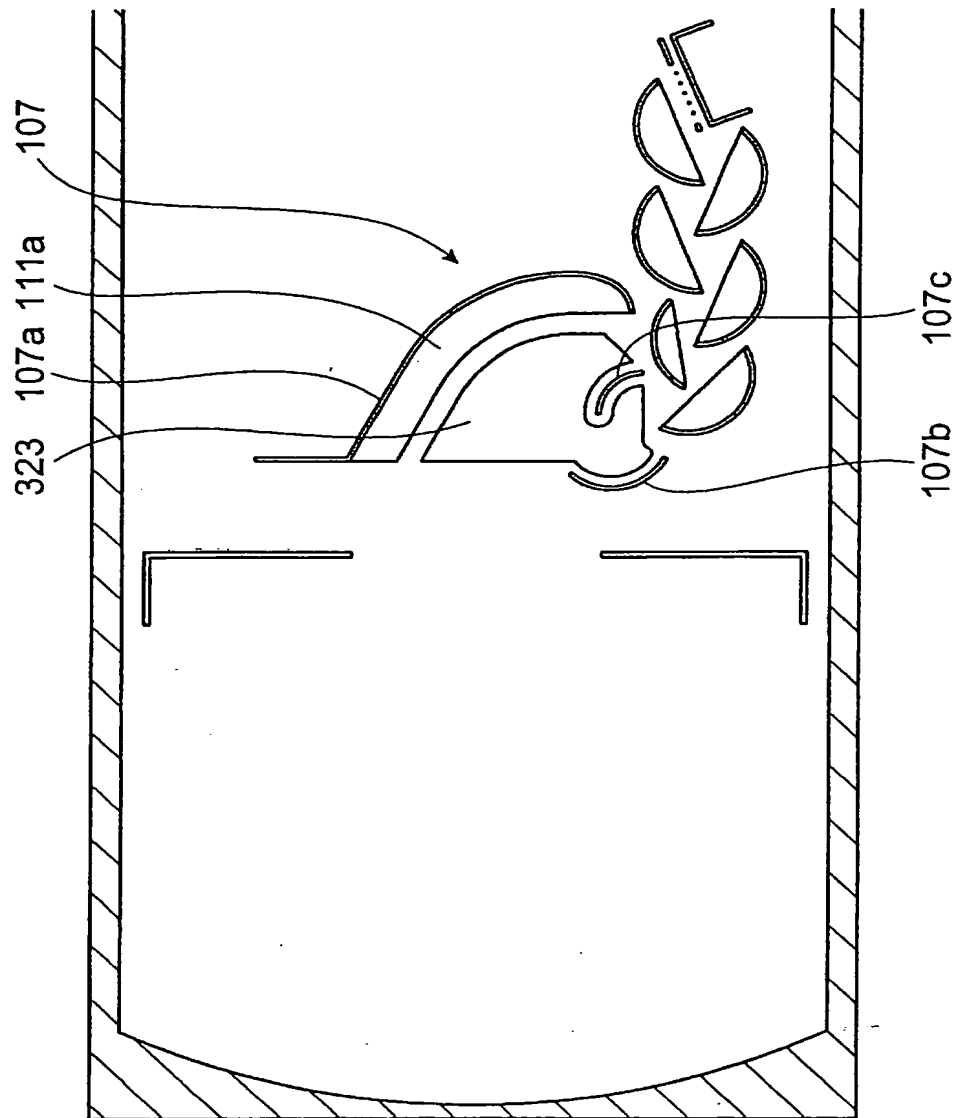
[図5]



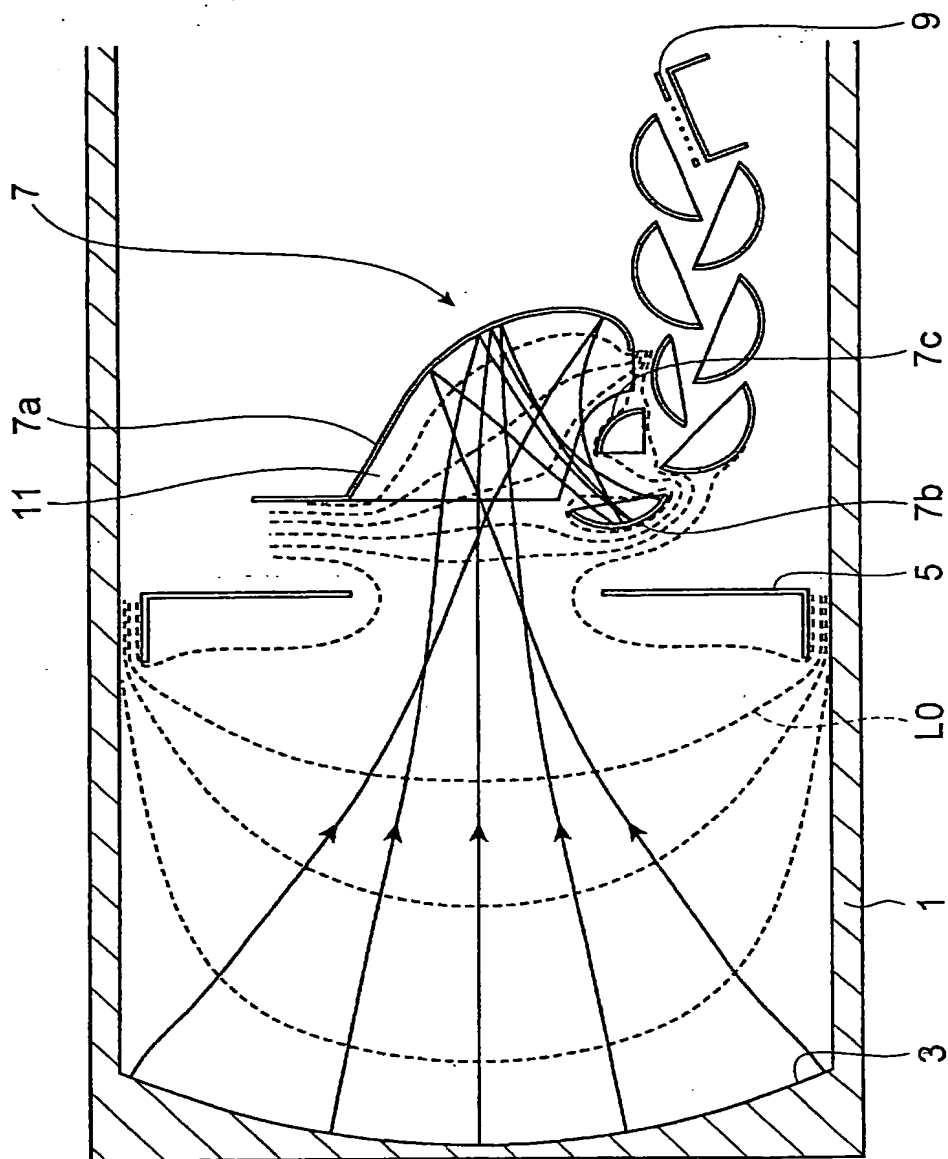
[図6]



[図7]

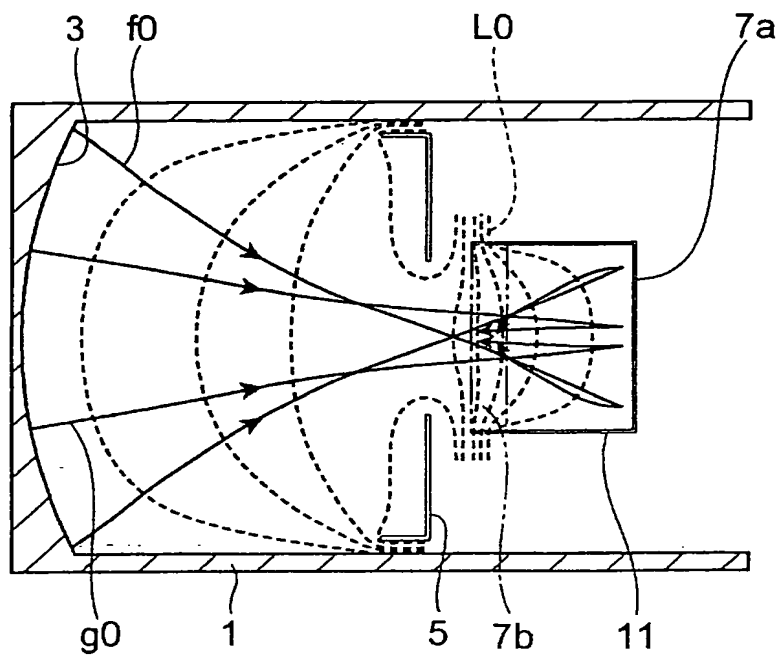


[図8]



[図9]

(a)



(b)

